



Collaboration Interactive en Réalité Virtuelle pour l'industrie Aéronautique

Damien Clergeaud, Pascal Guitton

► To cite this version:

Damien Clergeaud, Pascal Guitton. Collaboration Interactive en Réalité Virtuelle pour l'industrie Aéronautique. AFRV 2016 - 11èmes journées de l'association française de réalité virtuelle, AFRV, Oct 2016, Brest, France. hal-01417415

HAL Id: hal-01417415

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01417415>

Submitted on 15 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Collaboration Interactive en Réalité Virtuelle pour l'industrie Aérospatiale

Damien Clergeaud ^{2,1}

Pascal Guitton ^{1,2}

¹ Université de Bordeaux

² Inria Bordeaux-Sud Ouest

ABSTRACT

Contrairement à ce que laissent penser un certain nombre « d'articles » publiés dans la presse ou les réseaux sociaux depuis quelques temps, la réalité virtuelle n'est pas née ces dernières années avec l'apparition de casques à coût réduit ; elle a par exemple pénétré le monde de l'entreprise depuis longtemps. Elle est aujourd'hui utilisée de façon routinière notamment pour des activités de conception et de fabrication. La complexité croissante de ces processus alliée à la localisation sur plusieurs sites des experts des grandes entreprises a conduit à s'interroger sur la « bonne façon » de conduire des expérimentations virtuelles regroupant plusieurs utilisateurs immergés via des systèmes différents et éventuellement géographiquement distants. Cette problématique a fait l'objet de différents travaux de recherche depuis plusieurs années mais il est facile de constater que ces résultats sont encore peu (ré)utilisés dans l'industrie.

C'est pour tenter de faire progresser ce transfert que nous développons avec Airbus Group un système de maquettage pour tester certaines de ces solutions dans leur contexte de travail. Nous avons donc développé une application immersive en fonction de leurs besoins spécifiques, puis mis en place des tests avec des vrais utilisateurs afin d'évaluer dans des conditions écologiques l'impact des résultats académiques. Ce projet est basé sur une collaboration forte : du recueil d'informations sur les process actuels et futurs aux tests avec des end-users, en passant par le co-design de solutions avec leurs experts. Dans cet article, nous présentons les premières étapes de ce travail en décrivant quelques-uns des outils d'interaction collaborative que nous avons développés et les premiers tests utilisateurs que nous avons réalisés.

Keywords: Réalité Virtuelle, Interaction à Distance, Interaction Collaborative, Perception, Aérospatial.

1 INTRODUCTION

L'interaction collaborative en réalité virtuelle est un domaine abordé par les chercheurs depuis plusieurs années. Un grand nombre de solutions et de résultats ont été présentés dans la littérature pour résoudre certains des problèmes posés par des expérimentations virtuelles impliquant notamment des utilisateurs immergés sur des sites géographiquement distants. Malheureusement, beaucoup de ces résultats ne sont pas repris dans les logiciels industriels utilisés aujourd'hui dans les entreprises. Plusieurs raisons peuvent être évoquées : le temps nécessaire à un tel transfert, la multiplicité et la diversité des résultats... Mais plus encore, le manque de validation réelle est un véritable frein à ces développements. En effet, il n'existe que trop peu de travaux académiques qui soient validés de façon rigoureuse (véritable

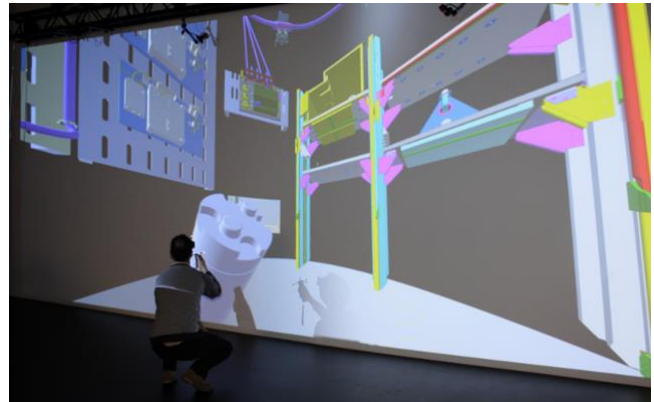


Figure 1 : Un utilisateur en train de manipuler un objet dans un système immersif.

protocole de test, nombre et représentativité des sujets testés, méthodes statistiques appliquées sur les observations...).

C'est la principale raison pour laquelle nous avons entrepris un programme de recherche à la demande et en collaboration étroite avec l'entreprise Airbus Group qui souhaite développer des expérimentations virtuelles regroupant des utilisateurs utilisant des systèmes différents. Imaginons par exemple un scénario qui regrouperait dans une même session de travail en RV des opérateurs localisés sur 3 sites en charge d'étapes différentes : l'assemblage final et le lancement d'une fusée, l'assemblage initial et la conception initiale par le bureau d'études. En cas de souci au moment de la préparation du lancement, il peut être pertinent de regrouper tous ces experts métiers afin de concevoir, puis de mettre en œuvre une solution.

Aujourd'hui, ces sessions n'existent pas encore à cause de plusieurs problèmes dont le principal est d'obtenir une perception fidèle de l'expérimentation virtuelle en cours (notion d'awareness). Comment se repérer efficacement dans un EV complexe ? Où sont les autres utilisateurs immergés ? Que font-ils ? Quelle procédure doit appliquer un opérateur ? Autant de questions concrètes qui sont encore en manque de solutions efficaces validées. Dans cet article, nous aborderons deux aspects principaux : la perception de l'EV et la communication entre les utilisateurs.

Afin de proposer des réponses à ces questions, nous avons commencé par observer les process actuels afin d'en analyser leurs contenus et leurs limitations. Puis, nous avons réalisé un état de l'art des principaux résultats existant dans la littérature et nous avons conçu une première version que nous avons discutée avec les experts de l'entreprise. Suite à ces échanges, nous avons ensuite développé des maquettes logicielles de fonctions d'interaction et de communication. Ces outils ont finalement été présentés puis testés

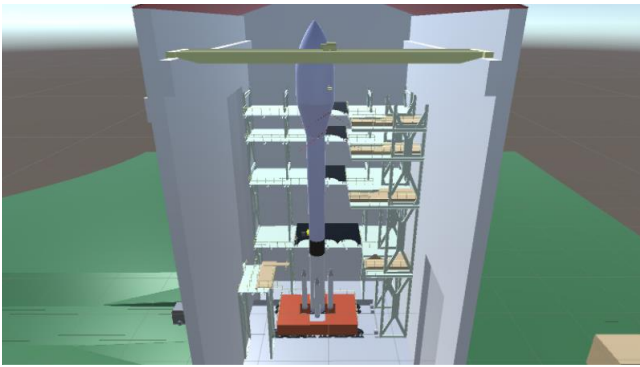


Figure 2 : Vue extérieure de la maquette numérique d'un lanceur d'une fusée dans son bâtiment d'assemblage.

par des end-users afin de mesurer leur efficacité et de recueillir leurs avis.

Dans la section 2, nous présentons un état de l'art sur les principaux travaux abordant l'interaction collaborative en réalité virtuelle. Puis dans la section suivante, nous décrivons d'abord la démarche globale de ce projet et ensuite les fonctionnalités d'interaction et de communication qui ont été implémentées dans notre système de maquettage et de test. Enfin dans la section 4, présentons les retours sur les premières étapes de cette collaboration avec les acteurs d'Airbus Group.

2 ÉTAT DE L'ART

Il existe un grand nombre de résultats dans la littérature qui ont pour but de faciliter la collaboration en réalité virtuelle. Dans cet article, nous nous concentrons sur le problème de la perception et de la communication dans un environnement virtuel [1]. Cela permet aux utilisateurs de se construire un référentiel commun afin de mener à bien la tâche qu'ils ont à réaliser. Nous divisons ce problème en trois sous-problèmes :

- Perception des composants physiques de l'EV.
- Perception des autres utilisateurs dans l'EV.
- Perception et compréhension des activités dans l'EV.

2.1 Perception des composants physiques

La première étape est de bien percevoir les objets qui composent notre environnement afin de pouvoir les reconnaître, les sélectionner ou encore les manipuler. La main virtuelle ou le rayon virtuel sont des métaphores utilisées depuis longtemps en RV. Mais avant de sélectionner un objet, l'utilisateur doit pouvoir le repérer dans la scène 3D. A cause de la complexité de l'environnement, plusieurs problèmes peuvent émerger :

- Il est souvent impossible de percevoir l'environnement dans son ensemble. Pour tenter de remédier à cette perception partielle/incomplète, l'utilisateur peut alterner entre différentes vues globales et locales mais au détriment de la qualité de l'immersion.
- Plus l'EV est dense plus il y a d'occultations. Il peut être difficile de trouver un point de vue permettant de percevoir pleinement un objet. De plus l'utilisateur ne peut pas voir les objets derrière lui. Par conséquent, la perception d'un EV est partielle et incomplète.
- Un objet est composé de plusieurs attributs qui ne se résument pas uniquement à sa forme et à son apparence. Comment accéder aux métadonnées (ou données abstraites) pour pleinement les utiliser lors d'une tâche en RV ?

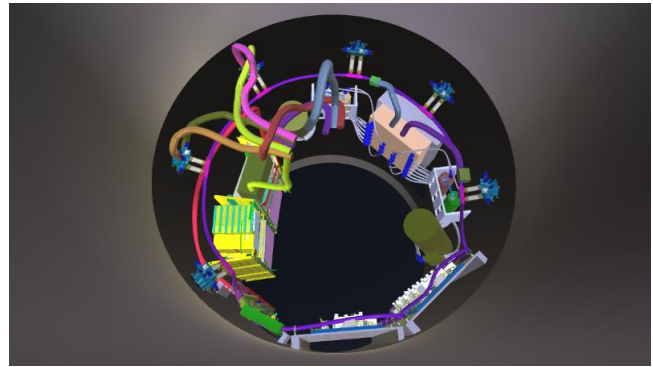


Figure 3 : Vue intérieure de la maquette numérique d'un lanceur d'une fusée. Cet intérieur correspond au cylindre noir sur le lanceur à la figure 2.

2.1.1 Point de vue global de l'EV

En 1995, Stoakley et al. ont proposé la métaphore du monde en miniature (World In Miniature – WIM) [2]. Cette technique permet à l'utilisateur de visualiser et de manipuler une copie miniature de l'EV dans une fenêtre dédiée. Cette copie aide l'utilisateur à se construire une représentation mentale de l'EV et lui permet de manipuler des objets de la scène à distance directement via la fenêtre miniature.

Basé sur le même concept, Evins et al. ont proposé Worldlet [3]. Un Worldlet est une représentation miniaturisée d'une partie de l'EV. Cette représentation peut être manipulée par l'utilisateur et ainsi lui permettre de mieux percevoir ce qu'elle représente. L'étude réalisée explique que cette représentation permet de véhiculer plus d'informations qu'une simple image ou description textuelle.

La méthode des multiples points de vue est une autre manière d'accéder à des informations sur l'EV. En 1998, Fukatsu et al. ont proposé une approche intuitive qui permet de contrôler un second point de vue alors que l'utilisateur est immergé dans l'EV [4]. Le second point de vue (depuis le ciel) permet d'obtenir des informations globales sur l'environnement. Ce type d'approche est adapté aux EV appelés mondes ouverts car ils n'ont pas de réelle limite spatiale.

Plus récemment, Kunert et al. présentèrent Photoportals [5]. Un Photoportal est un point de vue et un portail vers un endroit différent de l'EV. Les utilisateurs peuvent créer des Photoportals plat ou volumique. Ces Photoportals servent à obtenir un point de vue sur lieu distant dans l'EV mais aussi à se téléporter ou à récupérer un objet sur ce lieu distant. Ils peuvent aussi être utilisés comme une caméra afin de sauvegarder une image ou un moment. Ainsi, les utilisateurs peuvent se téléporter dans la version sauvee de l'environnement liée à la photo afin de revivre ce moment.

2.1.2 Vue étendue de l'EV.

Le miroir magique de Grosjean et al. permet aux utilisateurs de manipuler un miroir dans l'EV [6]. Il permet ainsi de voir derrière un objet ou sa face cachée en le manipulant. Cet outil est particulièrement utile lorsque l'on cherche une information précise.

Dans les logiciels de CAO, les vues éclatées sont utilisées pour voir l'ensemble d'un système. Cette technique permet aussi d'exposer les parties internes non visibles d'un système [7].

Le problème d'occultation est très courant dans les environnements denses. Elmqvist et al. ont identifiés 5 types de solutions génériques [8] afin de résoudre ce problème d'occultation des objets :

- Les multiples points de vue ;
- Les rayons-X virtuels ;
- Les itinéraires planifiés ;
- Les vues éclatées interactives ;
- Les vues multi-perspectives.

Toutes les techniques présentées dans cet état de l'art peuvent être affiliées à l'une des catégories.

2.1.3 Accéder aux Métadonnées

Bowman et al. ont introduit la notion d'environnement virtuels riches en informations [9] c'est à dire enrichis grâce des informations abstraites ; c'est le cas par exemple de la plupart des maquettes numériques industrielles. Plusieurs questions surgissent lorsque l'on conçoit ce genre d'environnement :

- Où placer l'information abstraite ? Par exemple, relativement par rapport à la position de l'utilisateur dans l'EV, au point de vue de l'utilisateur, à la position d'un objet dans l'EV ou de manière absolue dans l'EV. Dans les deux derniers cas, on distingue deux manières d'afficher l'information. Elle peut être communiquée via les caractéristiques d'un objet 3D (par exemple utiliser la couleur pour communiquer la température). Sinon, elle peut être partagée grâce à d'autres modalités comme par exemple du texte, des symboles, une fenêtre supplémentaire dans l'EV ou du son qui est joué en fonction de la position de l'utilisateur dans l'EV.
- Comment expliciter les liens entre informations abstraites et réelles ? Dans le cas d'une information affichée textuellement près d'un objet 3D, le lien est explicite. Au contraire, si l'information est apparue dans une fenêtre fixe par rapport à la position de l'utilisateur lorsqu'il s'est approché d'un objet, le lien est implicite.
- Quel niveau d'agrégation ? Le concepteur doit décider si l'information abstraite doit être divisée en plusieurs visualisations qui sont accessibles de différentes manières.

Une autre manière d'obtenir de l'information sur son environnement est d'en recevoir d'un utilisateur distant. Dans [7, 8], un opérateur utilisant un ordinateur possédant une vue globale de l'EV, fournit des informations à un utilisateur immergé en plaçant des indications (flèches, croix, lumières...) dans la scène 3D afin de le guider dans celle-ci.

2.2 Perception des autres utilisateurs

La seconde étape importante est de bien prendre conscience de la présence des autres utilisateurs dans l'EV. Cette perception peut être difficile en fonction de la qualité de la représentation et/ou la distance séparant les utilisateurs (physiquement comme virtuellement).

2.2.1 Représentation des utilisateurs

Leigh et al. [12] proposèrent de représenter les utilisateurs grâce à des avatars personnalisables, comme dans les jeux vidéo multijoueurs. La précision de la représentation de l'avatar peut varier en fonction des besoins de l'application. Cette personnalisation permet aux utilisateurs de facilement reconnaître

des utilisateurs distants et aide à améliorer la sensation d'immersion et de présence dans l'EV.

Une autre technique consiste à représenter les utilisateurs avec leur réel modèle 3D [13]. Beck et al. proposèrent un système de réalité virtuelle avec des caméras de profondeur permettant de construire en temps réel le modèle 3D des utilisateurs. Grâce à ce système, les utilisateurs peuvent facilement reconnaître un autre acteur et peuvent communiquer en utilisant des gestes pour pointer des objets par exemple. Cette technique de représentation améliore la perception d'autrui car cela permet d'ajouter aux modalités habituelles de communication la communication gestuelle.

Hrimech et al. démontrèrent dans leur expérience [14] que l'utilisation d'un rayon virtuel dans une tâche de construction collaborative permet d'améliorer les sentiments de coprésence, d'implications dans la tâche et de perception des autres. De plus, si deux utilisateurs sont en train de regarder dans la même direction, l'utilisation d'un rayon virtuel permet de pointer des composants pendant la discussion. A l'inverse, la métaphore d'interaction Go-Go [15] améliore les sensations d'effort collaboratif, de satisfaction et d'utilisabilité.

Néanmoins, si l'objet pointé par un utilisateur est caché pour les autres utilisateurs, le rayon virtuel perd de son intérêt. C'est pourquoi, Argelaguet et al. proposèrent une technique d'interaction qui permet de mettre en transparence les objets qui cachent l'objet pointé en fonction du point de vue des autres utilisateurs [16]. Ils ont pu conclure que cette technique facilite la collaboration dans des scénarios co-localisés et à distance.

Le rayon virtuel est premièrement utilisé pour manipuler des objets et deuxièmement d'améliorer la perception pour les autres. Dans ce cas, il permet de partager avec les autres ce que l'utilisateur est en train de faire.

2.2.2 Distance entre les utilisateurs

Des utilisateurs peuvent être virtuellement distants entre eux dans l'EV. Dans ce cas, il est difficile de connaître la position ou l'activité d'un autre acteur. [10, 17] proposèrent de fournir des vues supplémentaires aux utilisateurs. Par exemple, dans [10], les utilisateurs peuvent choisir de voir le point de vue d'un autre utilisateur appelé « vue au-dessus de l'épaule » (« over the shoulder » view). Dans [17], les utilisateurs peuvent se téléporter vers la position d'un autre utilisateur. Néanmoins, avec un système de réalité virtuelle plus immersif, les téléportations successives peuvent briser le sentiment de présence.

Sarmiento et al. [18] proposèrent d'utiliser trois différentes modalités pour communiquer la position du second utilisateur par rapport au premier dans une tâche collaborative. Ce signal transmis entre les utilisateurs est appelé signal de proximité. Il est continu et modulé en fonction de la distance entre les deux utilisateurs. Les trois modalités de ce signal stimulent la vue, l'ouïe et le toucher. Pour la vue, une minimap avec la position du second utilisateur est continuellement affichée dans le point de vue de l'utilisateur. Pour l'ouïe, un bruit de vent est continuellement émis. Le son est rendu spatialement dans l'EV en fonction de la position du second utilisateur. Et pour le toucher, une ceinture avec des vibreurs qui réagissent en fonction de la position relative du second utilisateur par rapport au premier. Un seul vibreur vibre à la fois pour donner la direction et l'intensité varie en fonction de la distance entre les utilisateurs.

2.3 Perception et compréhension des activités dans l'EV

Le troisième point est d'être complètement conscient du déroulé des activités dans l'EV. Les techniques permettant d'être conscient de la présence d'autrui dans l'EV permettent de fournir aussi des informations quant à la progression de l'activité dans l'EV. Avoir accès au point de vue d'un autre utilisateur [10, 17], ou voir le rayon virtuel ou l'objet contrôlé par un collaborateur [14] permet de savoir ce qu'est en train de faire ce collaborateur.

Nous allons l'aborder selon deux aspects : l'espace de travail réel qui permet de s'immerger dans l'environnement par les utilisateurs sur chaque site et l'utilisation de retour haptique (passif et actif) pour des tâches collaboratives.

2.3.1 L'espace de travail réel

Les systèmes utilisés pour interagir avec l'EV ont un impact sur la collaboration quand il sont partagés dans le monde virtuel. Heldal et al. [19] ont conduit une étude pour mesurer l'impact du caractère symétrique des systèmes utilisés pour interagir dans un scénario collaboratif. Deux utilisateurs doivent construire dans un EV un objet qui ressemble à un rubik's cube à l'aide de cubes de couleur. Pour ce faire, ils doivent respecter un ordre particulier pour que le cube ait une couleur par face. Les couples d'utilisateurs utilisèrent des systèmes homogènes pour réaliser la tâche (Cave-Cave ou Desktop-Desktop) ou utilisèrent des systèmes hétérogènes (Cave-HMD, Cave-Desktop). Les résultats montrèrent que les utilisateurs avec le même système pour interagir ont réalisé la tâche plus rapidement et facilement. Néanmoins, plusieurs couples d'utilisateurs ayant pris conscience du caractère hétérogène de leur équipements via le canal vocal ont adapté leur rôle vis-à-vis de la tâche pour la réaliser de manière optimale.

Fleury et al. [20] proposèrent d'intégrer à l'EV le système réel que l'utilisateur utilise pour interagir. Le rayon d'action et la position de chaque système est dessiné dans la scène pour permettre aux autres utilisateurs de savoir ce que les autres sont capable de faire facilement ou pas.

Dans un contexte industriel plus spécifique, Pontionnier et al. [21] travaillèrent sur comment optimiser une ligne d'assemblage industriel en réalité virtuelle. Un opérateur, un ingénieur et un ergonome sont réunis virtuellement pour trouver la meilleure solution pour concevoir la chaîne de montage en prenant compte des contraintes de chacun. Pour ce faire, chaque utilisateur peut créer des formes de base ou des plans afin de décrire ses idées et les communiquer.

2.3.2 Retour haptique

Il est important de percevoir les actions de son collaborateur quand on manipule le même objet. Quand la collaboration est colocalisée, il est possible d'utiliser un objet réel qui permet de fournir un retour haptique passif sur la manipulation. Par exemple, si les utilisateurs sont immergés grâce à des casques de réalité virtuelle, même s'ils ne peuvent pas se voir, grâce à l'objet physique, ils peuvent ressentir la présence et les actions de l'autre [22]. La tâche de manipulation est d'ailleurs réalisée plus facilement et plus vite dans ce cas. Aguerreche & al. [23] ont conçu un outil physique dont la géométrie est paramétrable afin d'épouser au mieux la forme de l'objet 3D à manipuler.

Dans le cas de collaboration à distance, Chellali et al. utilisèrent le concept de « What You Feel Is What I Feel » pour améliorer la communication pendant une formation médicale de biopsie [24]. Durant les répétitions, le formateur peut ressentir ce que l'étudiant est en train de ressentir via un bras à retour de force et inversement. Cela permet de nourrir la discussion entre l'étudiant et le formateur afin que la formation se déroule au mieux.

3 DESCRIPTION DU SYSTÈME

3.1 La démarche globale de notre projet

Le but de ce projet est d'adapter au contexte industriel d'Airbus des solutions permettant de faciliter la communication et l'awareness dans des scénarios collaboratifs en réalité virtuelle. Nous avons commencé par une première étape d'observation du contexte aérospatial. Nous avons par exemple assisté à une session collaborative entre deux sites distants afin de nous rendre compte de l'usage et des besoins. Ensuite, nous avons réalisé un état de l'art de la littérature pour cibler le type d'outils qui pourrait permettre de faciliter leurs usages spécifiques.

Le développement des premières fonctionnalités d'interaction a commencé après cette phase. Pendant ce développement, des démonstrations régulières ont été organisées afin de débattre des choix effectués et de (ré)orienter certaines implémentations dans une démarche de co-design.

Enfin, nous avons réalisé une séance de test avec des experts métier totalement extérieurs au projet. Malgré leurs expertises différentes tous avaient un lien avec le système en conception :

- Un ingénieur du bureau d'étude côté production
- Un ingénieur du bureau d'étude côté conception
- Un opérateur d'assemblage (compagnon)

Cette séance a permis de valider les premiers choix de conception, mais a aussi permis de préciser certains usages grâce à la diversité des métiers présents.

La prochaine étape est d'intégrer ces premières versions d'outils d'interaction à la plateforme logicielle qu'utilise Airbus pour réaliser les sessions collaboratives de réalité virtuelle.

3.2 Apparatus

Dans les deux sections qui suivent, nous décrivons le matériel et les logiciels utilisés pour réaliser notre prototype.

3.2.1 Le matériel

Pour simuler des sites distants, nous avons utilisé deux types de systèmes :

- Un casque de réalité virtuelle (HTC Vive).
- Un ordinateur muni de dispositif Razer Hydra pour interagir.
- Un mur immersif de 8m*3m avec deux vidéoprojecteurs stéréoscopiques (Barco RLM-W12) avec une Wiimote comme wand et un système de tracking (NaturalPoints Optitrack Flex 13).

La simulation s'exécute sur deux types de machines. Un ordinateur destiné à la pratique des jeux-vidéos (Intel Core i7-3820 CPU @ 3.60GHz, 8Go RAM, Nvidia Geforce GTX 660) est utilisé soit pour le casque de réalité virtuelle ou directement sur un écran

d'ordinateur classique. Le second ordinateur est destiné à générer l'affichage sur l'écran immersif (Intel Xeon E5-2680 v2 @ 2,8GHz, 32Go RAM, 12Go Nvidia Quadro K6000 GPU).

3.2.2 Les logiciels

Pour développer la simulation, nous avons utilisé Unity 5.4 Personal Edition avec le SDK MiddleVR for Unity. MiddleVR est un plugin générique pour réaliser des applications de réalité virtuelle en s'abstrayant de la partie matérielle [??]. Cela permet de créer des configurations en fonction du système utilisé pour que la simulation s'adapte automatiquement au système. Donc toute la partie gestion du matériel est réalisée grâce à MiddleVR, et toute la partie interaction et application en réseau est gérée par Unity.

3.3 Les fonctions d'interaction

Nous avons conçu un système proposant un ensemble d'outils pour améliorer la communication et la perception générale de l'EV pour les utilisateurs immergés. Le but de ces outils est de simplifier la communication lors de situations qui arrivent couramment lors de réelles sessions collaboratives de réalité virtuelle : Où es-tu ? De quel objet parles-tu ? Que vois-tu ? ... Lors des sessions que nous avons pu observer, ces échanges (questions et réponses) sont exclusivement réalisés via le canal vocal. Cela génère du bruit et des interférences et la session peut devenir très répétitive. Les outils développés dans ce prototype ont été conçus avec l'intention de réduire cette communication vocale en proposant une alternative. Il nous semble en effet plus efficace de décrire une position dans l'environnement ou de concevoir un objet 3D en désignant directement l'information dans la scène via une métaphore appropriée.

3.3.1 Fonctionnalités de base

Les utilisateurs immergés sont associés à une représentation de leur tête et/ou de leur main qui sont suivies grâce au système de tracking. Un identifiant et une couleur permet de les identifier.

Afin de se situer dans l'environnement et en s'inspirant des travaux de Stoackley, nous avons développé une version miniature de la scène de test. Composée de plusieurs étages d'un lanceur, nous avons décidé de la visualiser en transparence avec différents codes couleur pour différencier les zones importantes. Chaque utilisateur est représenté en temps réel dans ce monde en miniature par la couleur de son avatar.

3.3.2 Pointer et désigner des objets

Les utilisateurs peuvent utiliser un rayon virtuel ou une main virtuelle pour interagir avec les objets de l'environnement. Un bouton sur la wand permet de changer rapidement de type de métaphore d'interaction. Le rayon virtuel peut être utilisé pour pointer des objets sans modifier la scène afin de nourrir une discussion avec un second utilisateur.

En plus du rayon virtuel, les utilisateurs peuvent modifier l'apparence d'un objet 3D afin de le désigner pour un autre opérateur immergé. Cette technique est nécessaire car elle est plus persistante et ne demande pas de pointer continuellement l'objet en question. Par exemple, en préalable à une opération de démontage dans le lanceur d'une fusée, les opérateurs peuvent désigner les objets qu'ils vont devoir démonter.

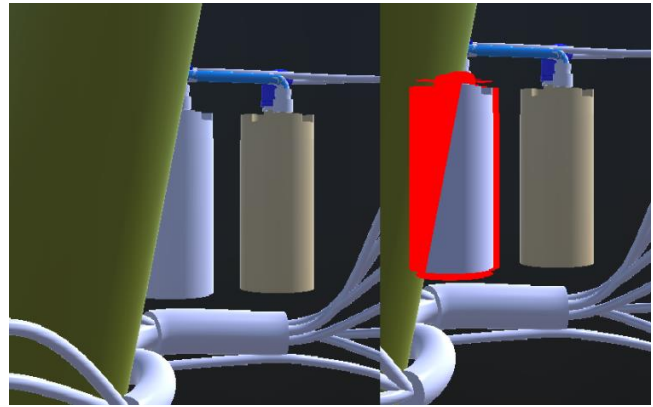


Figure 4 : Exemple d'une pile dans le lanceur à moitié caché. À droite, elle est désignée avec la technique de l'outlined shader.

Nous avons développé différentes techniques de désignation avec des caractéristiques variées :

- Le volume englobant : une sphère transparente englobe l'objet désigné. Si l'objet est dans le champ de vision, la désignation est claire.
- Le spot lumineux : un spot lumineux est directement pointé sur l'objet en question. La luminosité de la lumière ambiante est diminuée pour que le contraste soit plus perceptible. Cette technique permet de localiser facilement l'objet dans une scène avec une bonne distance de vue. Mais à l'inverse, si les objets sont très proches les uns des autres, cette technique ne permet pas de déterminer quel est l'objet désigné.
- La texture clignotante : L'objet désigné clignote. Dans un contexte industriel, les objets d'une maquette numérique ont généralement des textures statiques. Ainsi l'objet qui clignote est facilement perceptible s'il est dans le champ de vue de l'utilisateur.
- L'outline shader : Cette technique permet de faire ressortir les contours de l'objet si l'objet est visible avec une couleur vive. Si l'objet est caché par d'autres composants, alors il est affiché « par-dessus » ces composants avec une couleur vive. Cela permet de savoir où est l'objet bien qu'il soit caché ou éloigné.

3.3.3 Visualisation à distance

Nous avons développé dans le système la possibilité de gérer plusieurs vues. Partager différents points de vue est une méthode

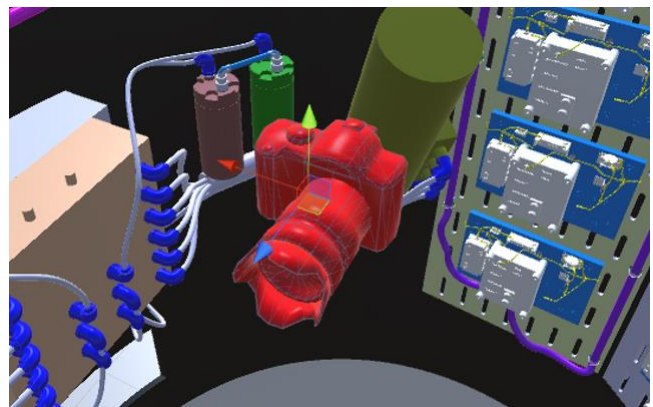


Figure 5 : Une caméra a été placée à l'intérieur du lanceur.

couramment utilisée dans la littérature pour obtenir de l'information à distance sur les autres utilisateurs ou sur un endroit en particulier. Pour faciliter la création ou la gestion de ces points de vues additionnels, nous proposons aux utilisateurs de placer des caméras dans l'environnement virtuel. Le point de vue depuis ces caméras peut être visualisé dans des fenêtres supplémentaires définies dans la scène 3D.

Ces points de vue peuvent être créés avant la session collaborative afin de la préparer. Ainsi, l'utilisateur final pourra accéder à ces différents points de vues lorsque que son interlocuteur lui expliquera la tâche qu'il doit réaliser.

L'utilisateur peut aussi accéder au point de vue d'un autre opérateur ce qui permet de savoir ce qu'il fait ou de comprendre de quoi il parle.

Les caméras peuvent également être attachées à des objets de l'environnement. Ainsi, si cet objet est manipulé et déplacé, la caméra sera déplacée de la même façon. D'un point de vue de l'usage, cela permet de suivre l'activité par rapport à un objet en particulier. Par exemple, si la tâche consiste à intégrer un système dans le lanceur de la fusée mais qu'elle nécessite plusieurs étapes, avoir un point de vue qui permet de savoir où est ce système à tout moment est un bon indicateur de l'avancée du scénario.

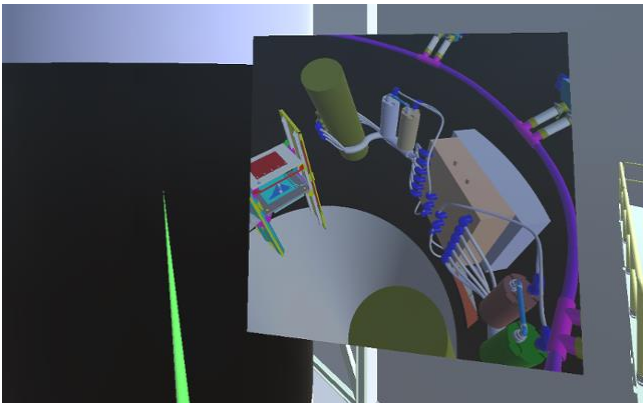


Figure 6 : Le point de vue de la camera placée dans le lanceur à la figure 5.

3.3.4 Édition de trajectoire

Afin de présenter globalement le scénario d'une tâche à réaliser, il peut être utile de montrer la trajectoire de certains composants impliqués. Par exemple, visualiser la trajectoire qu'un composant doit réaliser pour être démonté du lanceur et être déposé sur un établi extérieur.

Nous avons donc développé un système d'édition de trajectoire en définissant la position, l'orientation et la couleur d'une séquence ordonnée de points. Pour les visualiser dynamiquement, il suffit d'associer un composant à cette trajectoire, puis de la jouer. L'utilisateur pourra alors voir le composant se déplacer le long de la trajectoire définie au préalable.

Ces trajectoires peuvent être cachées ou affichées en fonction de la situation. Les points prennent la forme du composant associé à la trajectoire.

Nous avons pu observer deux usages principaux de cette fonctionnalité. Définies avant la session collaborative, elles servent à montrer toutes les étapes et les opérations d'une procédure que les opérateurs devront réaliser. Ainsi, il est possible en début de session de visualiser toutes les opérations à réaliser pendant que les instructeurs donnent oralement des précisions en lien avec les différentes étapes.

Le second usage consiste à utiliser ces trajectoires comme support de discussion. Par exemple, pour concevoir et valider toutes les étapes d'une procédure complexe entre plusieurs utilisateurs immergés distants.

Pour résumer, la figure suivante montre comment les outils implémentés contribuent à la perception de l'EV et des activités.

	Les composants physiques	Les autres utilisateurs	L'activité globale
Métaphore de designation	x	x	x
Visualisation à distance	x	x	x
Trajectoire de composants	x		x

Figure 7 : Un tableau décrivant dans quelle catégorie d'awareness les outils contribuent.

3.3.5 Observations et Retours d'usage

Nous avons testé ces différentes fonctionnalités d'interaction avec des experts extérieurs au projet. Nous avons donc recréé des conditions proches des conditions réelles en les invitant à réaliser en réalité virtuelle une procédure qu'ils découvriraient à ce moment. Afin de tester leur impact sur l'accomplissement de ces opérations, nous avons comparé des expérimentations avec et sans l'utilisation de ces outils.

Sans les outils, les phases de transmission des consignes sur la procédure et de manipulation se faisaient à peu près en même temps. Les utilisateurs avaient besoin de se suivre constamment et de se montrer les objets en question via le rayon virtuel. Parfois des ambiguïtés sur l'objet à déplacer demandèrent encore plus d'échange vocal. Ce genre de situation avait tendance à générer un sentiment que l'autre utilisateur était incompetent ou pas complètement concentré. Ce ressenti peut détériorer considérablement la qualité de la collaboration.

Avec les outils, en général, le canal vocal servait exclusivement pour donner des informations ponctuelles (le point de vue à regarder, confirmer que le point de vue est bien le bon, avertir du début ou de la fin d'une manipulation...) Aucune description d'objet, de lieu ou de trajectoire n'a été transmise par le canal vocal.

Au fil des différentes rencontres avec les experts Airbus, nous avons pu mettre en évidence différents usages. Tous ces experts ont une bonne connaissance de la réalité virtuelle et l'ont utilisé régulièrement de manière professionnelle.

Les ingénieurs du bureau d'études ont pour rôle de transmettre aux opérateurs finaux la procédure qu'ils viennent de concevoir pour

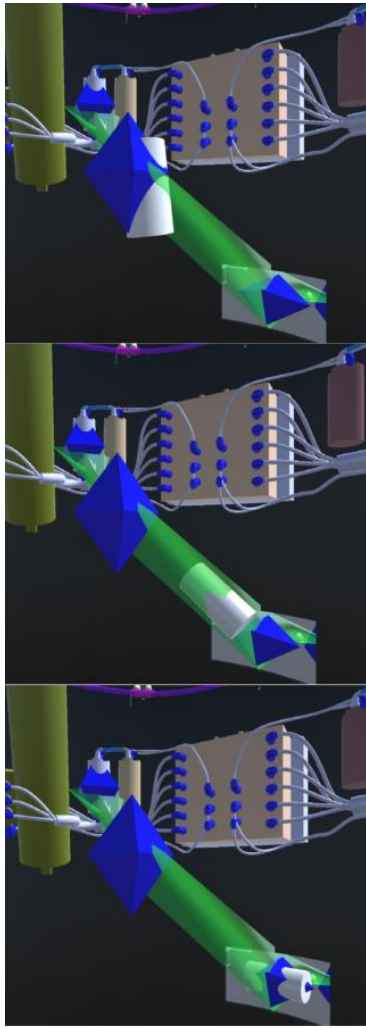


Figure 8 : Un composant est en train de parcourir dynamiquement une trajectoire préalablement créée.

intégrer un nouveau système. Cette session de réalité virtuelle permet de valider en amont la procédure avant de la réaliser en production.

Durant les tests, ils utilisaient des caméras avant la session pour la préparer et plaçaient des trajectoires en fonction de la procédure à transmettre. Ainsi, pour transmettre les informations à l'opérateur final, ils faisaient référence aux différentes caméras instanciées tout en jouant les différentes trajectoires dans l'ordre.

Les ingénieurs du bureau d'études ont eu tendance à se créer une sorte de bureau virtuel pour suivre les actions de l'opérateur final. C'est-à-dire qu'ils disposaient dans leur champ de vision les différents points de vue préalablement paramétrés tout en ayant directement un point de vue sur une partie pertinente de la scène. Un monde en miniature faisait parfois partie de cette disposition. Durant les manipulations de l'opérateur final, les ingénieurs du bureau d'études lui demandèrent de décrire ces actions. Généralement les points de vue préalablement paramétrés permettaient de percevoir ses manipulations mais il est arrivé qu'ils ne permettent pas d'avoir une vue assez fine de la situation. Dans ce cas l'opérateur final a créé une caméra pour montrer directement aux ingénieurs ce qu'il faisait. Par contre, il n'a pas utilisé de visualisation à partir de plusieurs points de vue pendant la

procédure car il préférerait ne rien avoir dans son champ de vision lorsqu'il travaillait afin de pouvoir se concentrer sur celle-ci.

4 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons décrit un projet à la frontière entre la recherche académique et la pratique industrielle. Nous avons en particulier décrit et commenté la démarche globale ainsi que les premiers outils conçus lors de ce projet. Les tests réalisés avec les utilisateurs ont permis de construire une première estimation du bénéfice que ce genre d'outils procurerait dans des logiciels utilisés quotidiennement dans l'industrie.

L'étape suivante est d'intégrer ces premiers outils dans les systèmes logiciels utilisés dans l'entreprise pour pouvoir évaluer encore plus finement l'impact de ces outils.

Par ailleurs, les outils présentés dans cet article ne couvrent évidemment pas l'ensemble des problèmes qui limitent actuellement ce genre de session immersive collaborative. Nous travaillons actuellement sur un système d'annotation ainsi qu'une méthode permettant d'extraire des éléments caractéristiques d'une session de travail virtuelle de façon automatique.

REFERENCES

- [1] Nguyen, T. T. H., & Duval, T. A survey of communication and awareness in collaborative virtual environments. In *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2014 International Workshop on 3D Collaborative Virtual Environment at IEEE VR* (pp. 1-8). IEEE, March 2014.
- [2] Stoakley, R., Conway, M. J., & Pausch, R. Virtual reality on a WIM: interactive worlds in miniature. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 265-272). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., May 1995.
- [3] Elvins, T. T., Nadeau, D. R., & Kirsh, D. Worldlets 3D thumbnails for wayfinding in virtual environments. In *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 21-30). ACM, October, 1997.
- [4] Fukatsu, S., Kitamura, Y., Masaki, T., & Kishino, F. Intuitive control of "bird's eye" overview images for navigation in an enormous virtual environment. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 67-76). ACM, November 1998.
- [5] Kunert, A., Kulik, A., Beck, S., & Froehlich, B. Photoportals: shared references in space and time. In *Proceedings of the 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing* (pp. 1388-1399). ACM, February 2014.
- [6] Grosjean, J., & Coquillard, S. The magic mirror: A metaphor for assisting the exploration of virtual worlds. In *Spring Conference on Computer Graphics* (pp. 125-129), April 1999.
- [7] Li, W., Agrawala, M., Curless, B., & Salesin, D. Automated generation of interactive 3D exploded view diagrams. In *ACM Transactions on Graphics (TOG)* (Vol. 27, No. 3, p. 101). ACM, August 2008.
- [8] Elmqvist, N., & Tsigas, P. (2007, March). A taxonomy of 3D occlusion management techniques. In *2007 IEEE Virtual Reality Conference* (pp. 51-58). IEEE, March 2007.
- [9] Bowman, D. A., North, C., Chen, J., Polys, N. F., Pyla, P. S., & Yilmaz, U. Information-rich virtual environments: theory, tools, and research agenda. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 81-90). ACM, October 2003.
- [10] Nguyen, T. T. H., Duval, T., & Fleury, C. (2013, February). Guiding techniques for collaborative exploration in multi-scale shared virtual environments. In *GRAPP International Conference on Computer Graphics Theory and Applications* (pp. 327-336), February 2013.

- [11] Bacim, F., Ragan, E. D., Stinson, C., Scerbo, S., & Bowman, D. A. Collaborative navigation in virtual search and rescue. In *3D User Interfaces (3DUI), 2012 IEEE Symposium on* (pp. 187-188). IEEE, March 2012.
- [12] Leigh, J., Johnson, A. E., Vasilakis, C. A., & DeFanti, T. A. Multi-perspective collaborative design in persistent networked virtual environments. In *Virtual Reality Annual International Symposium, 1996., Proceedings of the IEEE 1996* (pp. 253-260). IEEE, April 1996.
- [13] Beck, S., Kunert, A., Kulik, A., & Froehlich, B. Immersive group-to-group telepresence. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4), 616-625, 2013.
- [14] Hrimech, H., Alem, L., & Merienne, F. How 3D interaction metaphors affect user experience in collaborative virtual environment. *Advances in Human-Computer Interaction*, 8, 2011.
- [15] Bowman, D. A., & Hodges, L. F. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In *Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics* (pp. 35-ff). ACM, April 1997.
- [16] Argelaguet, F., & Andujar, C. Efficient 3D pointing selection in cluttered virtual environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 29(6), 34-43, 2009.
- [17] Dodds, T. J., & Ruddle, R. A. Using teleporting, awareness and multiple views to improve teamwork in collaborative virtual environments. *Virtual Environments 2008*, 81-88, 2008.
- [18] Sarmiento, W. J., Maciel, A., Nedel, L., & Collazos, C. A. Measuring the collaboration degree in immersive 3D collaborative virtual environments. In *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2014 International Workshop on* (pp. 1-6). IEEE, March 2014.
- [19] Heldal, I., Schroeder, R., Steed, A., Axelsson, A. S., Spant, M., & Widestrom, J. Immersiveness and symmetry in copresent scenarios. In *IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005.* (pp. 171-178). IEEE, March 2005.
- [20] Fleury, C., Chauffaut, A., Duval, T., Gouranton, V., & Arnaldi, B. A generic model for embedding users' physical workspaces into multi-scale collaborative virtual environments. In *ICAT 2010 (20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence)*, December 2010.
- [21] Pontonnier, C., Duval, T., & Dumont, G. Collaborative virtual environments for ergonomics: Embedding the design engineer role in the loop. In *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2014 International Workshop on* (pp. 1-5). IEEE, March 2014.
- [22] Salzmann, H., Jacobs, J., & Froehlich, B. (2009). Collaborative interaction in co-located two-user scenarios. *Proceedings of the 15th Joint Virtual Reality Conference of EGVE – ICAT – EuroVR*, 2009.
- [23] Aguerreche, L., Duval, T., & Lécuyer, A. Reconfigurable tangible devices for 3D virtual object manipulation by single or multiple users. In *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 227-230). ACM, November 2010.
- [24] Chellali, A., Dumas, C., & Milleville-Pennel, I. Haptic communication to support biopsy procedures learning in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 470-489, 2012.